

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-294533

(43)Date of publication of application : 04.11.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 10-038325

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 20.02.1998

(72)Inventor : ONOMURA MASAOKI
HATAGOSHI GENICHI
NUNOGAMI SHINYA :
ISHIKAWA MASAYUKI

(30)Priority

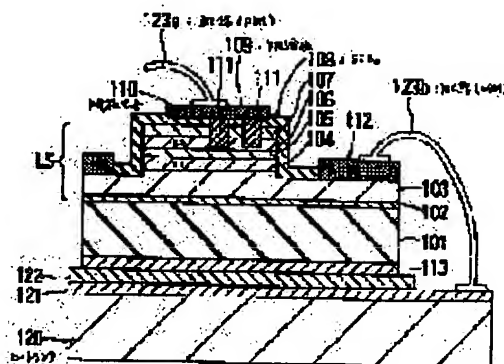
Priority number : 09 37289 Priority date : 21.02.1997 Priority country : JP

(54) NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable carriers to be effectively injected into an active layer and to enable a nitride semiconductor laser to be restrained from operating in a high-order mode, to operate on a low operating voltage, and to be enhanced in low-noise characteristics by a method wherein a mesa-type current injection layer is provided above the active layer, and a current block is provided to the side of the mesa-type current injection layer to form a current constriction structure.

SOLUTION: Two parallel grooves cut in the surface of a multilayer structure SL are filled up with insulator (polymide) or semiconductor material for the formation of a current block layer 111. A polyimide layer not only functions as a layer to stop and constrict a current but also is suitable for a light trapping region used for restraining a high-order mode. N-type $GaxInyAlzN$ ($x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) can be used as the above semiconductor material, wherein a PN junction is formed to constrict a current. The current blocking layer 111 is formed on N-type $In_{0.1}Ga_{0.9}$, provided so as to reach near an active layer 105 in a P-type clad layer 106, and effectively restrains an injected current from diffusing in a lateral direction.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.06.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application]

converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-14115

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 08.07.2004

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-294533

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-38325

(22) 出願日 平成10年(1998)2月20日

(31) 優先権主張番号 特願平9-37289

(32) 優先日 平9(1997)2月21日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 小野村 正明

神奈川県川崎市幸区小向京芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 波多陵 玄一

神奈川県川崎市幸区小向京芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 布上 真也

神奈川県川崎市幸区小向京芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 外川 英明

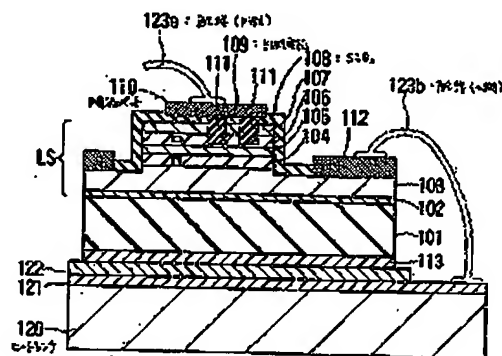
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物化合物半導体レーザ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 活性層へキャリア注入を効率的に且つ均一に行うと共に基本モード以外の高次モードを抑制することができ、低閾値電流、低動作電圧、低雑音特性で連続発振する信頼性の高い窒化物化合物半導体レーザを提供すること。

【解決手段】 サファイア基板101上に、活性層105を導電型の異なる半導体層で挟んだ半導体レーザにおいて、p側電極109と共にメザ型に形成された電流窄窄構造の側面にはポリイミド111の電流ブロックと光閉じ込めのための構造が形成されている。



101: サファイア
102: 緩衝層
103: p型層
104: メザ構造
105: 活性層
106: n型層
107: コントラクト層

108: 電極
109: p型電極
110: 電流窄構造
111: ポリイミド
112: 電流ブロック
113: 光閉じ込め構造

(2)

特開平10-294533

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化ガリウム系化合物半導体 ($Ga_xIn_yAl_z$; $N: x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) からなり、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ半導体レーザにおいて、

該活性層の上部に形成され該活性層にキャリアを注入するための電流狭窄構造がメサ型に形成され、該メサ型電流狭窄構造の側面は絶縁物の電流ブロック層で覆われていることを特徴とする窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項2】窒化ガリウム系化合物半導体 ($Ga_xIn_yAl_z$; $N: x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) からなり、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ半導体レーザにおいて、

該活性層の上部に形成され該活性層にキャリアを注入するための電流狭窄構造がメサ型に形成され、該メサ型電流狭窄構造の側面は導電性の異なる窒化ガリウム系化合物半導体電流ブロック層で覆われていることを特徴とする窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項3】請求項1及び2記載の窒化物化合物半導体レーザにおいて、活性層は多重量子井戸構造であることを特徴とする窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項4】請求項1及び2記載の窒化物化合物半導体レーザにおいて、電流狭窄構造の幅 $W1$ と活性層下部の導電型の異なる電極金属と接する半導体層の膜厚 $W2$ との関係が、
 $W1 \leq 4 \cdot W2$

となることを特徴とする窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項5】請求項1及び2記載の窒化物化合物半導体レーザにおいて、メサ型電流狭窄構造が複数あることを特徴とする窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項6】基板上に第1導電型のクラッド層、活性層、第2導電型のクラッド層を少なくとも含んだ積層構造体を設けてなる窒化ガリウム系化合物半導体 ($Ga_xIn_yAl_z$; $N: x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) レーザにおいて、前記積層構造体の前記第2導電型のクラッド層の側の主面に少なくとも2本の溝を設け、この溝のそれぞれに絶縁物からなる電流ブロック層を設けたことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項7】前記電流ブロック層は、前記第2導電型のクラッド層に達する深さを有することを特徴とする請求項6記載の窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項8】前記電流ブロック層は、前記第1導電型のクラッド層に達する深さを有することを特徴とする請求項6記載の窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項9】前記積層構造体は、前記第1導電型のクラッド層の下に形成された第1導電型のコンタクト層をさらに有し、前記電流ブロック層は、前記第1導電型のコンタクト層に達する深さを有することを特徴とする請求項6記載の窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項10】前記電流ブロック層を構成する前記絶縁物は、ポリイミドであることを特徴とする請求項6記載の窒化物化合物半導体レーザ。

【請求項11】基板上に第1導電型のクラッド層、活性層、第2導電型のクラッド層を少なくとも含んだ積層構造体を設けてなる窒化ガリウム系化合物半導体 ($Ga_xIn_yAl_z$; $N: x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) レーザにおいて、前記積層構造体の前記第2導電型のクラッド層の側の主面に少なくとも2本の溝を設け、前記溝のそれぞれに第1導電型の窒化ガリウム系化合物半導体からなる電流ブロック層を設けたことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ。

【請求項12】活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ窒化ガリウム系化合物半導体レーザを製造する方法において、前記活性層の土地の半導体層表面にp電極を形成する工程と、前記p電極上には耐エッチングマスク金属を形成し、電流ブロック層形成のために前記活性層の土地の半導体層表面の一部にはフォトリソストで窓を形成し、前記耐エッチングマスク金属とフォトリソストを用いて溝を形成する工程と、前記溝を埋め込み前記電流ブロック層を形成する工程を含むことを特徴とする窒化物化合物半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化物化合物半導体材料を用いた半導体素子に係わり、特に窒化ガリウム系青紫色半導体レーザ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、 GaN 、 $InGaN$ 、 $GaAlN$ 、 $InGaAlN$ 等の窒化ガリウム系化合物半導体は高密度光ディスクシステム等への応用を目的とした短波長半導体レーザの材料として注目されている。発振波長の短いレーザ光は集光サイズを小さくできるので記録密度を高めるためには有効であるからである。

【0003】低閾値電流で半導体レーザを発振させるためには、活性層へのキャリア注入を効率良く行うことが必要であり、ヘテロ接合を有するpn接合と電流狭窄構造の形成が重要である。また、光ディスクのピックアップ光源として用いられる半導体レーザでは発振モードの制御が必要であり、活性層からはみ出したレーザ光を速度に吸収させ屈折率差を大きくするとともに吸収により高次モードの利得を減少させ安定な基本モード発振を起こす構造の形成が重要である。

【0004】しかしながら、窒化物化合物半導体レーザにおいては、電極ストライプ構造またはp型半導体層のみリッジ構造に形成した所謂利得導波構造レーザしか報告されていない。一方、バルク活性層に対し多重量子井戸構造活性層は閾値電流密度を低減できることが、 $InGaAlP$ 系等の従来の材料系で知られており、窒化物化合物半導体レーザでは当初より多重量子井戸構造活性

(3)

特開平10-294533

3

層が用いられたが、これに反して未だ閾値電流が高く、動作電圧も高いために消費電力が大きくなり寿命が短いばかりか、発振したレーザ光はノイズが大きく光ディスクシステムに適用できない。また、従来の利得導波型半導体レーザは数mW程度の光出力しか実現できないために、光ディスクシステムの消去・記録用に必要な30mW以上の高出力半導体レーザには適していない。

【0005】これは、量子井戸活性層へ高密度で高効率のキャリア注入が難しいことと、低雑音特性のための基本モード制御ができる構造を形成することが難しいことと、さらに複数の半導体レーザを容易に集積できないためである。即ち、基本モード利得のみを得られる適当な吸収領域を形成しながら、電極から活性層へ電流を広げずに狭窄したまま基本モード利得に必要な高電流密度で活性層にキャリア注入することが困難であった。また、電流狭窄領域と吸収領域を交互に形成することが難しいために、複数の窒化物化合物半導体レーザを集積することが困難であった。

【0006】このように、光ディスク等への実用に供する低閾値電流、低電圧で動作し、基本モードで連続発振する信頼性の高い窒化ガリウム系青色半導体レーザを実現するためには、活性層へのキャリア注入を効率的に行うと共に高次モードを吸収する様な構造を形成することが重要であるが、未だこれらを満足する構成は得られていないのが現状である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来、窒化物化合物半導体を用いた半導体レーザでは、基本モード制御が可能な電流狭窄構造を形成することが難しく、雑音特性が悪いばかりか活性層へ高密度でキャリア注入を行うことができず、低閾値電流、低動作電圧、低雑音特性、高光出力の素子を実現する事が困難であった。

【0008】本発明は上記事情を考慮してなされたもので、その目的とするところは、基本モード制御構造の形成が容易であるばかりか、活性層へ高密度でキャリア注入を行うことができる電流狭窄構造により、低閾値電流、低動作電圧、低雑音特性で信頼性の高い、窒化物化合物半導体レーザを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を達成するために本発明は、次のような構成を採用している。即ち本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体 ($Ga_{1-x-y-z}In_xAl_z$, $N: x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) からなり、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ半導体レーザにおいて、該活性層の上部に形成され該活性層にキャリアを注入するための電流狭窄構造がメサ型に形成され、該メサ型電流狭窄構造の側面は電流ブロック層で覆われていることを特徴とする。

【0010】ここで、本発明の望ましい実施形態として

4

は次のようなものが挙げられる。(1)電流ブロック層は、有機性絶縁膜、酸化膜、またはメサ型電流狭窄構造とは導電性の異なる窒化ガリウム系化合物半導体であること。

(2)活性層は多重量子井戸構造であること。

(3)該電流狭窄構造の幅W1と活性層下部の導電型の異なる電極金属と接する半導体層の膜厚W2との関係が、

$$W1 \leq 4 \cdot W2$$

となること。

(4)メサ型電流狭窄構造が複数あること。

【0011】また本発明は、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法において、前記活性層の土地の半導体層表面にp電極を形成する工程と、前記p電極上には耐エッチングマスク金属を形成し、電流ブロック層形成のために前記活性層の土地の半導体層表面の一部にはフォトリソで窓を形成し、前記耐エッチングマスク金属とフォトリソを用いて溝を形成する工程と、前記溝を埋め込み前記電流ブロック層を形成する工程を含むことを特徴とする。

【0012】本発明によれば、窒化物化合物半導体レーザにおいて、該活性層の上部にメサ型の電流狭窄構造を設け、さらにメサ型電流狭窄構造の側面に電流ブロック層を設けることにより、低閾値電流、低動作電圧、低雑音特性で高信頼性の連続発振が可能になる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図示の実施例を参照しつつ説明する。図1は本発明の第1の実施例に係わる窒化ガリウム系青色半導体レーザ装置の概略構成を表す断面図である。図中、101はサファイア基板、LSは、基板101の上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造体である。すなわち、積層構造体LSにおいて、102はGa_{0.9}Nバッファ層、103はn型Ga_{0.9}Nコンタクト層 (Siドープ、不純物濃度 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、厚4μm)、104はn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3μm)、105はGa_{0.9}N導波領域 (アンドープ、0.1μm)と量子井戸構造の活性領域とp型Ga_{0.9}N導波領域 (Mgドープ、0.1μm)が積層されてなるSCH-MQW (Separate Confinement Hetero-structure multi-Quantum Well) 活性層 (ここで、活性領域は、In_{0.05}Ga_{0.95}N量子井戸層 (アンドープ、2nm)とIn_{0.05}Ga_{0.95}N階壁層 (アンドープ、4nm)とのペアが10周期積層された量子井戸構造を有する)、さらに、106はp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.3μm)、107はp型Ga_{0.9}Nコンタクト層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、1μm)である。

【0014】また、108はSiO₂絶縁膜、109は

(4)

特開平10-294533

5

Pt (10nm)/Ti (50nm)/Pt (30nm)/Au (100nm) 構造のp側電極、100はCr/Au構造のp側電極パッド、112はTi/Au構造のn側電極、113はCr/Au構造のマウント用膜である。また、特に図示していないが、レーザ光出射端面にはTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートが施されている。

【0015】本発明によれば、積層構造体LSの表面に2本の略平行な溝が形成され、その溝に絶縁物あるいは半導体材料が埋め込まれて形成された電流ブロック層111が設けられている。電流ブロック層111を形成する絶縁物材料としては、絶縁物としては、例えば、ポリイミドを用いることができる。また、電流ブロック層111を形成する半導体材料としては、例えば、n型Ga_xIn_yAl_{1-x-y-z}N (x+y+z=1, 0≤x, y, z≤1)などを挙げることができる。すなわちn型半導体を用いることにより、pn接合を形成して効果的に電流を狭窄することができる。

【0016】ポリイミドで埋め込まれた電流ブロック層111は、電流を阻止して狭窄する層として動作するとともに、光閉じ込め領域としても機能する。ポリイミドは、波長400から450nm帯において、光吸収率が90〜60%と高いために、高次モードを抑制するための光閉じ込め領域として極めて適している。

【0017】また、電流ブロック層111の材料として例えばn型In_{0.5}Ga_{0.5}N層を用いた場合には、この材料が発振波長に対して透明であり、高次の横モード光を効果的に吸収して、基本横モード発振を得ることができるようになる。

【0018】ここで、図1に示したように、電流ブロック層111の深さは、p型クラッド層106の中で、活性層105の近傍まで達するように深く形成することが望ましい。その理由は、電流ブロック層111をp型クラッド層106の深くまで形成した方が、注入された電流の横方向への拡散をより効果的に抑制し、また、高次モード光もより効果的に吸収することができるからである。

【0019】つまり、p型クラッド層106の活性層105寄りまで電流ブロック層111を形成することにより、横方向への電流経路を遮断して、電流を効果的に狭窄することができ、基本横モード発振もより促進することができる。

【0020】次に、上記窒化物化合物半導体レーザの製造方法について、図2A〜図2Fの工程断面図を参照しつつ説明する。ここでは、電流ブロック層111の材料としてポリイミドを用いた場合について例示する。

【0021】まず、図2(a)に示す様に、有機金属気相成長法(以下、MOCVD法と略す)でサファイア基板上に、Ga_{0.5}Nバッファ層102からp型Ga_{0.5}Nコンタクト層107までを成長する。次に、n側電極形成のため

6

に結晶成長した半導体層の一部の領域をn型Ga_{0.5}Nコンタクト層103までエッチングしメサ型を形成する。特に図示していないが、Ga_{0.5}Nバッファ層102は550℃で30nm堆積させた後に1100℃で1μm成長させた2層構造とすることで、平坦で結晶欠陥の少ない窒化物化合物半導体層をその上に成長できる。

【0022】次いで、図2(b)に示す様に、ウェハ全面にSiO₂絶縁膜108を900nm堆積し、n型Ga_{0.5}Nコンタクト層103の一部にTi/Au構造のn側電極112を形成する。n側電極112は後に形成されるストライプ状の電流狭窄構造に対し平行で、且つ間隔が10μm以下の位置に形成することが望ましい。さらにn型Ga_{0.5}Nコンタクト層103の膜厚が2μm以上で、且つそのキャリア濃度が2×10¹⁸cm⁻³以上であれば、光出射領域とn側電極との間の素子抵抗成分とn側電極の接触抵抗成分とを合わせて1Ω以下に抑制することが可能であり、低電圧で半導体レーザの駆動ができるようになる。

【0023】次いで、図2(c)に示す様に、メサ型上部にPt(10nm)/Ti(50nm)/Pt(30nm)/Au(100nm)積層構造のp側電極109と層厚が1μmのニッケル(Ni)からなるNiドライエッチングマスク910を3μmの幅のストライプ状に形成する。このp側電極109とNiドライエッチングマスク910の幅は2μmから8μmまでの範囲が望ましい。

【0024】次いで、図2(d)に示す様に、フォトリソレジスト912を用いてp側電極109とNiドライエッチングマスク910の両側に幅10μmの開口部を設ける。さらに、塩素ガスを含むドライエッチング法によりp-Al_{0.5}Ga_{0.5}Nクラッド層106まで電流狭窄構造のため溝Gを形成して、フォトリソレジスト912及びNiドライエッチングマスク910を剥離する。ここで、ドライエッチング法による溝Gの形成における側面の角度θは90°が望ましい。しかし、θが90°以上135°以下の範囲であれば、活性層105への電流注入の幅はp側電極109の幅Wに対して0μmから+2.6μmの誤差範囲にあるので、閾値電流の上限は最大で2倍程度に抑制することができる。

【0025】また、電流ブロック層の間隔W1と横モードとの関係について調べた結果、間隔W1を8μm以下とすると基本モードが生じやすい傾向がみられた。従ってW1が8μm以下となるように、溝G、Gの間隔を決定することが望ましい。

【0026】一方、サファイア基板101の上の窒化ガリウム系結晶層の成長に際しては、2μm以上とすることにより結晶の歪みが緩和され、平坦な結晶層が得られる傾向がみられた。

【0027】さらに、電気抵抗の観点からみると、p型層に比べてn型層は、1桁以上シート抵抗が高い。そし

(5)

特開平10-294533

7

8

て、電流ブロック層の間隔がn型Ga_{0.9}Nコンタクト層103の層厚W2の4倍以下となる関係を満たせば、n側の素子抵抗がレーザ発振時の動作電圧や消費電力等の特性に実質的に影響しないことがないことが分かった。具体的には、W1をW2の4倍以下とすれば、半導体レーザの動作電圧に寄与する抵抗成分の比率は、p側:n側=10:1程度となり、素子のn側の抵抗成分は、p側の抵抗成分に比べて無視出来る程度に小さく、素子抵抗はp型層の抵抗成分によって一意的に決定される。

【0028】以上の検討結果から、電流ブロック層の間隔W1とn型Ga_{0.9}Nコンタクト層の層厚W2との関係として、 $W1 \leq 4 \cdot W2$ なる条件を満たす場合に、サファイア基板の上に良質な窒化ガリウム結晶層を成長でき、基本モードも抑制することができ、さらに素子抵抗も十分に低減することができるようになることが分かった。

【0029】さらに、本発明によれば、電流注入の幅はセルフアラインプロセスでp電極109の幅により決定されるので、狭い電流狭窄構造の形成に適している。つまり、電流注入の幅が狭い電流狭窄構造においても、p電極109の接触面積を最大化させることが出来る。その結果として電極接触部の抵抗の増大を防ぐことができるという利点がある。

【0030】次いで、図2(e)に示す様に、n側電極112の上部を除くウェハ全面にポリイミドをコーティングし、酸素アッシング法でp側電極109が露出するまでエッチングする。このようにして、溝Gにポリイミドを埋めこんで電流ブロック層111を形成することができる。この程度では感光性ポリイミドを用いると容易である。しかし、ウェハ全面にポリイミドをコーティングし、通常のリソグラフィ工程を用いてn側電極112上部のみ露出させるようにしても良い。

【0031】また、電流ブロック層111の材料としてn型In_{0.9}Ga_{0.1}Nを用いる場合には、ポリイミドの代わりにn型In_{0.9}Ga_{0.1}N層をウェハ全面に堆積し、p側電極109が露出するまでエッチングすればよい。このようにして、溝Gにn型In_{0.9}Ga_{0.1}N層を埋めこんで電流ブロック層111を形成することができる。

【0032】ここで、SiO₂絶縁膜108の側面や上部に、またはn側電極112の一部領域にポリイミドなどの材料が残っても、配線に問題が生じなければ素子特性に悪影響を与えないことは言うまでもない。また、電流ブロック及び光閉じこめのための層111は、ポリイミドやn型In_{0.9}Ga_{0.1}Nの替わりに、その他の絶縁物やn型Ga_{0.9}In_{0.1}Al_{0.1}N($x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$)であっても構わない。

【0033】次いで、図2(f)に示す様に、ワイアボンディングまたはフィリップチップマウントのためのp電極パッド110を形成する。次いで、サファイア基板

101裏面を鏡面研磨して基板101の厚さを50μmにする。さらに、Cr/Au積層構造のマウント用膜113を形成する。そして、基板に対して垂直な面に沿って劈開する。その劈開面には特に図示しないがTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートを施す。さらに、図1に示したように、銅(Cu)、立方晶窒化硼素またはダイヤモンド等の熱伝導性の高いヒートシンク120上にTi/Pt/Au等をメタライズした層121に対して、金・スズ(AuSn)共晶半田122を用いてマウントする。尚、電流注入のための配線123a, 123bは金(Au)線またはアルミニウム(Al)線を用いる。

【0034】本実施例による半導体レーザは、共振器長0.5mmの場合、閾値電流60mA、発振波長は420nm、動作電圧は5.2Vで室温で連続発振した。さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間以上、20℃から70℃における相対強度雑音は-140dB/Hz以下であった。本レーザの場合、p側電極109に対してセルフアラインにp-Al_{0.9}Ga_{0.1}Nクラッド層106までの深さの電流狭窄構造を形成することによって、p型層における電流の横方向拡散を抑制し、SCH-MQW活性層105へのキャリア注入効率を高めることができるばかりか、ポリイミドで電流ブロック層111を形成することで良好な光閉じ込め領域を形成し高次モードを抑制できる。また、SCH-MQW活性層105はSiO₂絶縁膜108とTiO₂/SiO₂多層構造高反射コートにより完全に覆われている構造にすることで表面リーク電流を抑制できる。従って、低電流注入で室温連続発振し、さらに低雑音特性が得られた。

【0035】次に、本発明の第2の実施例について説明する。図3は本発明の第2の実施例に係わる窒化ガリウム系青色半導体レーザ装置の概略構成を説明する断面図である。図中、201はサファイア基板であり、LSは、その上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造体である。すなわち、積層構造体LSにおいて、202はGa_{0.9}Nバッファ層、203はn型Ga_{0.9}Nコンタクト層(Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 4μm)、204はn型Al_{0.9}Ga_{0.1}Nクラッド層(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 0.3μm)、205はGa_{0.9}N導波領域(アンドープ、0.1μm)上にIn_{0.9}Ga_{0.1}N量子井戸(アンドープ、2nm)が10層とそれを挟むIn_{0.9}Ga_{0.1}N障壁層(アンドープ、4nm)からなる量子井戸構造活性領域、さらにp型Ga_{0.9}N導波領域(Mgドープ、0.1μm)が積層されてなるSCH-MQW(Separate Confinement Hetero-structure Multi-Quantum Well)活性層、206はp-Al_{0.9}Ga_{0.1}Nクラッド層(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 0.3μm)、207はp-Ga_{0.9}Nコンタクト層(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 1μm)からなる。

m)である。

【0036】また、208はSiO₂絶縁膜、209はPt(10nm)/Ti(50nm)/Pt(30nm)/Au(100nm)構造p側電極、210はCr/Au構造p電極パッド、211は電流ブロック層、212はTi/Au構造n側電極、213はCr/Au構造マウント用膜である。また、特にしていないが、レーザ光射出端面にはTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートを施している。

【0037】本実施例が図1で示される本発明の実施例1に対して異なる点は、電流ブロック及び光閉じ込めのための層211が、図3(a)の場合n型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層204まで、図3(b)の場合n型GaNコンタクト層203まで、それぞれ達していることにある。製造工程においてドライエッチングの時間を調節することにより、層211の深さを調節することができる。製造工程の概略を説明すると、まず、MOCVD法でサファイア基板上にGaNバッファ層202からp型GaNコンタクト層207までを成長し、次に溝を形成し、さらにポリイミドなどの絶縁物を埋め込むことにより、図示した半導体レーザを製造することができる。具体的な製造工程は、ほぼ前述の実施例1と同様であるので省略する。

【0038】ここで、図(a)に示したように、電流ブロック層211をn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層204に達するまで形成した場合、図1に示した素子よりもさらに電流の狭窄を効果的に達成することができる。また活性層205をブロック層211によって分離することができるので、基本横モード発振を容易に生じさせることができる。但し、この場合には、n型層204とブロック層211とが接触するので、ブロック層211の材料としては、ポリイミドなどの絶縁物を用いることが望ましい。

【0039】一方、図3(b)に示したように、電流ブロック層211をn型GaNコンタクト層203まで形成した場合、電極を介して注入された電流がさらに効果的に狭窄される。基板の材料として導電性のSiCなどを用いた場合には、n側電極を図示したように基板213に対して上側に設けるのではなく、基板の下側に設けることができる。このような場合には、特に図3(b)の構成によって効果的に注入電極を狭窄することができる。

【0040】図3(a)に示した構造の半導体レーザの試験の結果、共振器長0.5mmの場合、閾値電流55mA、発振波長は420nm、動作電圧は5.1Vで室温連続発振した。さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間以上、20℃から70℃における相対強度雑音は-145dB/Hz以下であった。本レーザの場合、p側電極209を用いてn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層204までの電流狭窄構造を形成せ

いすることによって電流の横方向拡散を抑制し、SCH-MQW活性層205へのキャリア注入効率を高めることができる。また、波長400から450nm帯において、光吸収率が90~60%と高いポリイミドを用いることにより、効果的に光閉じこめ領域を形成して高次モードを効果的に抑制できる。さらに、SCH-MQW活性層205はSiO₂絶縁膜208とTiO₂/SiO₂多層構造高反射コートにより完全に覆われている構造にすることで表面リーク電流を抑制できる。従って、低電流注入で室温連続発振し、さらに低雑音特性が得られた。

【0041】また、p側電極209の形成に際してパターンずれなどによって、p側電極がn型In_{0.15}Ga_{0.85}N電流ブロック層211に接触して形成されても、ポリイミドなどの絶縁物を用いるので閾値電流の大幅な増大は起こらなかった。

【0042】次に、本発明の第3の実施例について説明する。図4は本発明の第3の実施例に係わる窒化ガリウム系青色半導体レーザ装置の概略構成を説明する断面図である。同図中、301はサファイア基板であり、LSは、その上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造体である。

【0043】積層構造体LSにおいて、302はGaNバッファ層、303はn型GaNコンタクト層(Siドープ、5×10¹⁸cm⁻³、4μm)、304はn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層(Siドープ、1×10¹⁸cm⁻³、0.3μm)、305はGaN導波領域(アンドープ、0.1μm)上にIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸(アンドープ、2nm)が10層とそれを挟むIn_{0.15}Ga_{0.85}N障壁層(アンドープ、4nm)からなる量子井戸構造活性領域、さらにp型GaN導波領域(Mgドープ、0.1μm)が積層されてなるSCH-MQW(Separate Confinement Hetero-structure Multi-Quantum Well)活性層、306はp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層(Mgドープ、1×10¹⁸cm⁻³、0.3μm)、307はp型GaNコンタクト層(Mgドープ、1×10¹⁸cm⁻³、1μm)である。

【0044】また、308はSiO₂絶縁膜、309はPt(10nm)/Ti(50nm)/Pt(30nm)/Au(100nm)構造p側電極、310はCr/Au構造p電極パッド、311は電流ブロック層、312はTi/Au構造n側電極、313はCr/Au構造のマウント用膜である。また、特に図示していないが、レーザ光射出端面にはTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートを施している。

【0045】本実施例が図1で示される本発明の実施例1に対して異なる点は、電流ブロック311を4箇所設けている点である。これにより、電流注入領域及びレーザ射出口は3箇所形成され、いわゆる「マルチ・ビーム型」のレーザ素子を形成することができる。この半導体

11

レーザの製造工程は本発明の実施例1と概略同様であるので省略する。ここで、電流ブロック及び光閉じ込めのための層311は本発明の第1の実施例と同様にポリイミドなどの絶縁物や $n\text{-Ga}$ 、 In 、 Al 、 N ($x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) となる任意の組成の半導体材料を用いることができる。

【0046】本発明の実施例3によれば、共振器長0.5mmの場合、閾値電流180mA、発振波長は420nm、動作電圧は5.6Vで室温連続発振した。さらに最大光出力は100mWであった。本レーザの場合、本発明の実施例1と比較して電流ブロック及び光閉じ込めのための層を複数とすることで、電流注入領域、及びレーザ出射口が複数となりさらなる高光出力特性が得られた。このように、高光出力が容易に得られるので本実施例によれば、高出力のレーザ・ポインタなどを容易に実現することが出来る。

【0047】次に、本発明の第4の実施例について説明する。図5は本発明の第4の実施例に係わる窒化ガリウム系青色半導体レーザ装置の概略構成を説明する断面図である。同図中、501はサファイア基板であり、LSは、その上に、形成された窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造体である。積層構造体LSにおいて、502はGa_{0.9}Nバッファ層、503はn型Ga_{0.9}Nコンタクト層 (Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 4 μm)、504はn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 0.3 μm)、505はGa_{0.9}N導波領域 (アンダー、0.1 μm) 上にIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸 (アンダー、2nm) が10層とそれを挟むIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層 (アンダー、4nm) からなる量子井戸構造活性領域、さらにp型Ga_{0.9}N導波領域 (Mgドープ、0.1 μm) が積層されてなるSCH-MQW (Separate Confinement Hetero-structure Multi-Quantum Well) 活性層、506はp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 0.3 μm)、507はp型Ga_{0.9}Nコンタクト層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 1 μm) である。

【0048】また、508はSiO₂絶縁膜、509A、509BはPt (10nm)/Ti (50nm)/Pt (30nm)/Au (100nm) 構造p側電極、510A、510BはCr/Au構造p電極パッド、511A、511Bは電流ブロック層、512はTi/Au構造n側電極、513はCr/Au構造のマウント用膜である。また、特に図示していないが、レーザ光射端面にはTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートを施している。

【0049】本実施例も図4に示した第3実施例と同様に3以上の電流ブロック層511A、511Bを有する。本実施例が第3実施例と異なる点は、電流ブロック層511A、511B同士の間隔が一定でない点にあ

(7)

特開平10-294533

12

る。すなわち、本実施例においては、p側電極509Aの両側の電流ブロック層511A、511Aの間隔が広く、p側電極509Bの両側の電流ブロック層511B、511Bの間隔が狭い。また、本実施例においては、これらの間隔の異なるp側電極509A、509Bが分離して形成され、それぞれ別の電極パッド510A、510Bに接続されている。

【0050】本実施例によれば、このように、マルチビーム・レーザのそれぞれの電流ブロック層511A、511Bの間隔を異なるものとするることにより、それぞれのレーザを異なる用途に用いることができるようになる。

【0051】例えば、p側電極509Aの両側の電流ブロック層511A、511Aの間隔を約8 μm 程度とすれば、約20~30mWの光出力が得られ、光ディスク・システムのデータ書き込み用の光源として用いることができる。一方、p側電極509Bの両側の電流ブロック層511B、511Bの間隔を、例えば約2 μm とすれば、光ディスク・システムのデータ読み取り用に適した低出力の基本モード発振のレーザ光を低電流駆動条件で得ることができる。すなわち、ひとつの半導体レーザチップで、光ディスクの読み取りと書き込みが実現できるようになり、システムの光学系をコンパクトにすることができるようになる。この場合に、電流ブロック層の間隔の広いレーザ部分の活性層の層厚を、電流ブロック層の間隔の狭いレーザ部分の活性層の層厚と比べて厚くすると、高出力用レーザの光出をさらに増大することができる。

【0052】本実施例によれば、ひとつの半導体レーザ素子の中に複数のレーザ部分をアレイ状に並べることができ、高出力のレーザ・ポインタや、レーザを用いたディスプレイ装置の実現が可能となる。この場合に、活性層の組成を各レーザ部ごとに調節することにより、RGB3色のレーザの集積化も可能となり、1系統の光学レンズを用いたラスタースキャン式の画像ディスプレイが容易に実現され、特に、屋外での大画面表示も低消費電力で可能となる。

【0053】なお、本実施例における電流ブロック511A、511Bも、前述の各実施例の場合と同様に、ポリイミドなどの絶縁物や、n型Ga、In、Al、N ($x+y+z=1$, $0 \leq x, y, z \leq 1$) などの半導体材料から適宜選択することができる。

【0054】次に、本発明の第5の実施例について説明する。図6は本発明の第5の実施例に係わる窒化ガリウム系青色半導体レーザ装置の概略構成を説明する断面図である。同図中、601はサファイア基板であり、LSは窒化ガリウム系化合物半導体からなる積層構造体である。積層構造体LSにおいて、602はGa_{0.9}Nバッファ層、603はn型Ga_{0.9}Nコンタクト層 (Siドープ、 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 4 μm)、604はn型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 0.3 μm)、605はGa_{0.9}N導波領域 (アンダー、0.1 μm) 上にIn_{0.2}Ga_{0.8}N量子井戸 (アンダー、2nm) が10層とそれを挟むIn_{0.05}Ga_{0.95}N障壁層 (アンダー、4nm) からなる量子井戸構造活性領域、さらにp型Ga_{0.9}N導波領域 (Mgドープ、0.1 μm) が積層されてなるSCH-MQW (Separate Confinement Hetero-structure Multi-Quantum Well) 活性層、606はp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 0.3 μm)、607はp型Ga_{0.9}Nコンタクト層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 1 μm) である。

13

$a_{0.5}$ Nクラッド層 (Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$)、605はGa_{0.5}N導波領域 (アンドープ、 $0.1 \mu\text{m}$) 上にIn_{0.5}Ga_{0.5}N量子井戸 (アンドープ、 2 nm) が10層とそれを挟むIn_{0.5}Ga_{0.5}N障壁層 (アンドープ、 4 nm) からなる量子井戸構造活性領域、さらにp型Ga_{0.5}N導波領域 (Mgドープ、 $0.1 \mu\text{m}$) が積層されてなるSCH-MQW (Separate Confinement Hetero-structure Multi-Quantum Well) 活性層、606はp型Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層 (Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$)、607はp型Ga_{0.5}Nコンタクト層 (Mgドープ、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \mu\text{m}$)、614はp⁺型Ga_{0.5}Nコンタクト層 (Mgドープ、 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.1 \mu\text{m}$) である。

【0055】また、608はSiO₂絶縁膜、609はPt (10 nm)/Ti (50 nm)/Pt (30 nm)/Au (100 nm) 構造p側電極、610はCr/Au構造のp電極パッド、611は電流ブロック層、612はTi/Au構造n側電極、613はCr/Au構造のマウント用膜である。また、特に図示していないが、レーザ光出射端面にはTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートが施されている。

【0056】本実施形態が図1で示される本発明の実施例1に対して異なる点は、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層607及びp⁺型Ga_{0.5}Nコンタクト層614のキャリア濃度が、それぞれ電極の近傍で高くなるように形成された2段階構造になっていることにある。これは、コンタクト層607、614の形成に際して、不純物の濃度を適宜調節することにより実現することが出来る。その他の製造工程の要部は前述した実施例と概略同様であるので省略する。ここで、電流ブロック及び光閉じ込めのための層611は、本発明の第1の実施例と同様にn型Ga、In、Al、N ($x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$) となる任意の組成を用いても構わない。

【0057】本実施例によれば、共振器長0.5 mmの場合、閾値電流180 mA、発振波長は420 nm、動作電圧は5.3 Vで室温連続発振した。さらに最大光出力は100 mWであった。また、光出力5 mWにおける寿命は7000時間以上であった。本レーザの場合、本発明の実施例1の特性に比べ、p電極との接触抵抗が低減したために動作電圧が低減し、発熱が抑制されることで素子寿命を伸ばすことができた。また、p⁺型Ga_{0.5}Nコンタクト層614をInを含みp型Ga_{0.5}Nよりエネルギーギャップの小さいp型Ga、In、Al、N ($x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, z \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$) とすることで、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層607より高キャリア濃度にすることができるので、p⁺型Ga_{0.5}Nコンタクト層614と同様に動作電圧を低減できた。

【0058】次に、本発明の第6の実施例について説明する。図7は、パターンニングしたヒートシンクの上に本

(8)

特開平10-294533

14

発明の半導体レーザをフリップ・チップ・マウントした半導体レーザの概略断面図である。同図においては、半導体レーザの一例として、前述した実施例1の窒化ガリウム系青色半導体レーザを示した。

【0059】図7に示した半導体レーザ素子においては、サファイア基板101の裏面を鏡面研磨して基板の厚さを50 μm とし、Cr/Au構造のマウント用膜113を蒸着し、さらに電流狭窄構造に垂直な面で劈開し、その劈開面にはTiO₂/SiO₂を多層に積層した高反射コートを施した。ヒートシンク520は、Cu、立方晶窒化硼素またはダイヤモンド等の熱伝導性の高い材料により形成され、その表面には、電極分離のための溝CGが形成され、Ti/Pt/Au等の電極パターン521が選択的にメタライズされている。半導体レーザ素子は、その電極110及び112が、ヒートシンク520の電極パターン521の上にそれぞれ接続するように、AuSn共晶、AuGe共晶またはAuSi共晶等の半田材122を用いてマウントされている。

【0060】本実施例によれば、共振器長0.5 mmの場合、閾値電流60 mA、発振波長は420 nm、動作電圧は5.2 Vで室温連続発振した。さらに50℃、30 mW駆動における素子寿命は10000時間以上、20℃から70℃における相対強度雑音は-140 dB/Hz以下であった。本レーザの場合、活性層105で発生する熱を直下のヒートシンク520から逃がすことができるので放熱性に優れ、素子寿命が向上した。尚、本実施例で用いる半導体レーザ素子としては、前述した本発明のいずれの実施例の半導体レーザでも同様に用いることができ、同様の効果が得られることは言うまでもない。

【0061】以上、具体例を図示しつつ、本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、上述した各実施例においては、エッチング後の溝Gをポリイミドやn型Ga、In、Al、N ($x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$) などで埋め込んで電流ブロック層111、311、411、511を形成しているが、本発明はこれに限定されるものではない。この他にも、電流をブロックできる絶縁物、または半導体の材料を用いて同様の効果を得ることができる。

【0062】またp側電極、n側電極も各実施例に限定されるものではない。この他にも、例えば、p側電極としてAu-Be/Au、Au-Zn/Au、Pt/Ni/Au、Au-Zn/Ti/Au等種々選択でき、n側電極としてAl/Ti/Au、Al/Ni/Au、Al/Au、Ni/Al/Ti/Au、Au-Sn/Au、Au-Ge/Ni/Au等種々選択できる。さらに夫々の電極のオーミック性を改良する為に、p-GaNコンタクト層、n-GaNコンタクト層の表面の不純物濃度をイオン注入等を利用して高める工夫を行っても良い。

(9)

特開平10-294533

15

【0063】また、半導体レーザを構成している各半導体層の組成や膜厚も適宜調節することができる。また、その導電型も反転させることができる。また、本発明は、半導体レーザや発光ダイオードなどの発光素子以外にも、フォトダイオードなどの受光素子や光変調素子などの光デバイスに適用が可能である。

【0064】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、窒化物化合物半導体レーザにおいて、該活性層の上部にメザ型の電流注入層を設け、さらにメザ型電流注入層の側面に電流ブロック層を設けることで、電流狭窄構造の形成が可能であるばかりか、基本モード制御構造の形成が可能である。これにより、活性層へのキャリア注入を効率的に行うと共に高次モードを抑制することができ、低閾値電流、低動作電圧、低雑音特性で信頼性の高い、窒化物化合物半導体レーザを実現することができ、光ディスクシステム等の光元として要求されるレーザ性能を満たすことが可能となる。

【0065】また本発明によれば、セルフアラインプロセスで容易に精度良く電流狭窄構造を形成できる。さらに、同一のプロセスで容易にアレイ化ができるので、光ディスクシステムの消去・記録において要求される高出力レーザも実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施例に係わる図。

【図2】 本発明の第1の実施例の製造工程に係わる図。

【図3】 本発明の第2の実施例に係わる図。

【図4】 本発明の第3の実施例に係わる図。

*

16

*【図5】 本発明の第4の実施例に係わる図。

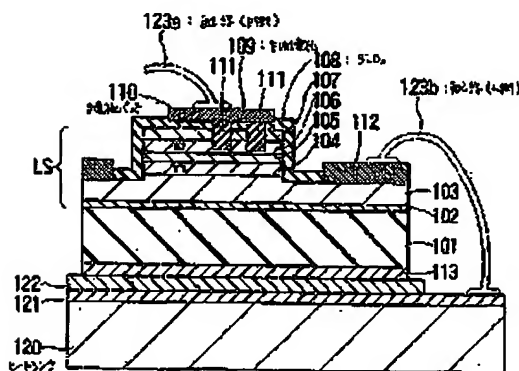
【図6】 本発明の第5の実施例に係わる図。

【図7】 本発明の第6の実施例に係わる図であって、第1の実施例のレーザをヒートシンクにマウントした例を示す図。

【符号の説明】

101, 201, 301, 401…サファイア基板
102, 202, 302, 402…Ga_{0.5}Nバッファ層
103, 203, 303, 403…n-GaNコンタクト層
104, 204, 304, 404…n-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
105, 205, 305, 405…SCH-MQW活性層
106, 206, 306, 406…p-Al_{0.15}Ga_{0.85}Nクラッド層
107, 207, 307, 407…p-GaNコンタクト層
108, 208, 308, 408…SiO₂絶縁膜
109, 209, 309, 409…Pt/Ti/Pt/Au構造p側電極
110, 210, 310, 410…p電極パッド
111, 311, 411…ポリイミド
112, 212, 312, 412…Ti/Au構造n側電極
113, 213, 313, 413…Cr/Au構造アセンブリ用膜
120, 520…ヒートシンク

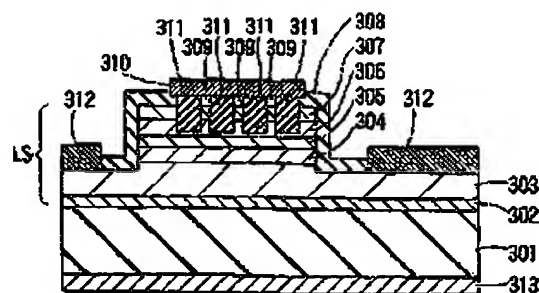
【図1】



101: サファイア
102: Ga_{0.5}N
103: n-GaN (コンタクト)
104: n-Al_{0.15}Ga_{0.85}In (クラッド)
105: SCH-MQW
106: p-Al_{0.15}Ga_{0.85}In (クラッド)
107: p-GaN
108: SiO₂ (絶縁膜)

109: Pt/Ti/Pt/Au
110: p電極パッド
111: ポリイミド
112: Ti/Au
113: Cr/Au (アセンブリ用膜)

【図4】

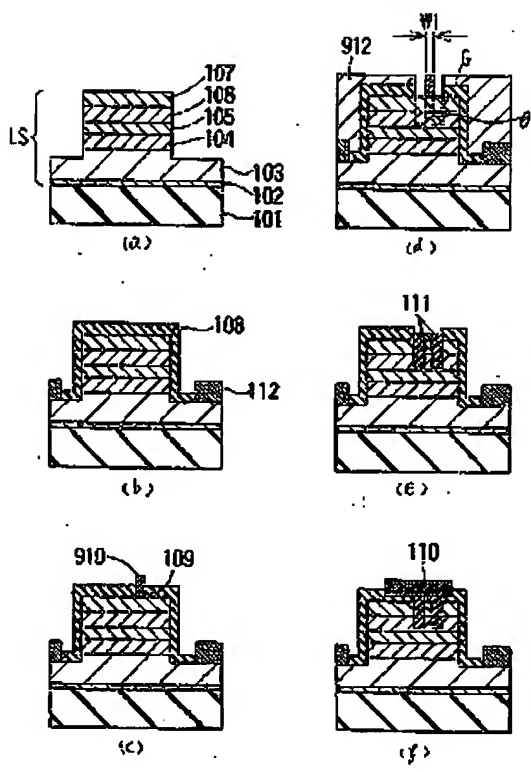


BEST AVAILABLE COPY

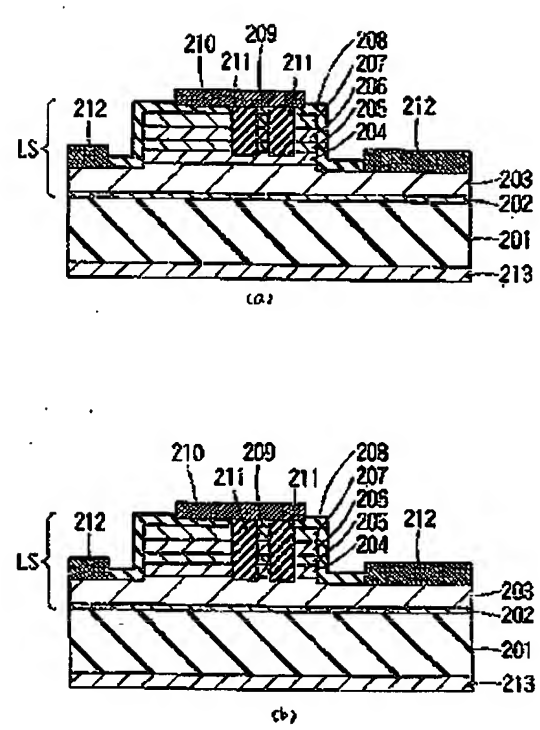
(10)

特開平10-294533

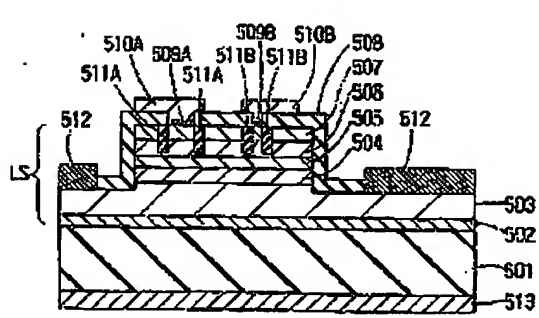
【図2】



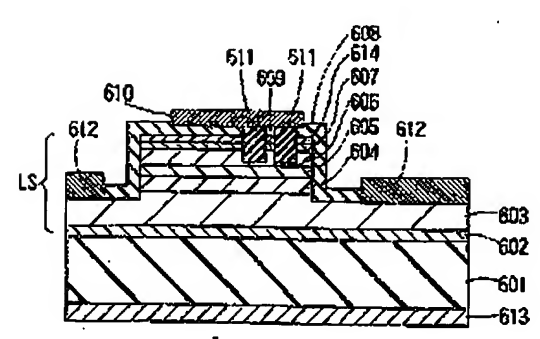
【図3】



【図5】



【図6】

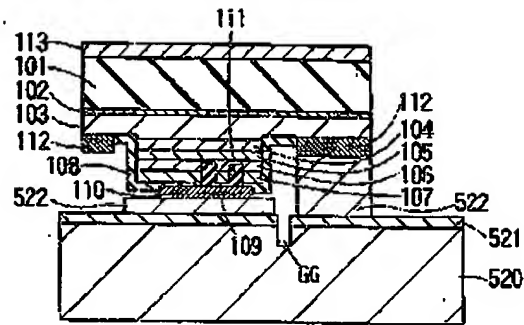


BEST AVAILABLE COPY

(11)

特開平 10-294533

【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 石川 正行
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株
式会社京芝研究開発センター内